دانشگاه زنجان
دانشکده علوم- گروه فیزیک

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد

گرایش نجوم

بررسی یخ‌زدگی جوی شبکه‌های قدرت (برق)

مهدی سحری

استاد راهنما

دکتر یوسفعلی عابدینی

تیرماه 91

قدردانی

سپاس خداوندگار حکیم را که با لطف بی‌کران خود، آدمی را زیور عقل آراست.

در آغاز وظیفه خود می‌دانم از خانواده مهربانم به ویژه مادر و همسرم که با لطف بی‌دریغ و حمایت‌های بیشائبه‌شان مرا یاری نمودند سپاس‌گزاری کنم.

هم‌چنین لازم می‌دانم از زحمات بی‌دریغ استاد راهنمای خود، آقای دکتر یوسفعلی عابدینی، که قطعاً بدون کمک‌ها و راهنمایی‌های ارزنده ایشان، این مجموعه به اتمام نمی‌رسید صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.

در خاتمه از جناب آقای دکتر محسن بیگدلی و جناب آقای دکتر رامین کیامهر که زحمت مطالعه و داوری این رساله را تقبل فرمودند و با پیشنهادات ارزنده خود باعث بهبود این رساله شدند، کمال امتنان را دارم.

چکیده

بررسی پدیده یخ‌زدگی جوی که به شکل‌های متنوع، زیبا و بی‌ضرر اتفاق می‌افتد و برخی اوقات خطرهای جدی برای امنیت حیات انسان و بسیاری از انواع ساختارهای دست بشر، شامل شبکه‌های برق و سیستم‌های حمل و نقل ایجاد می‌کند، دارای اهمیت فراوانی است. هنگامی‌که یخ‌زدگی جوی روی تجهیزات و ساختارهای شبکه برق اتفاق می‌افتد باعث افزایش وزن رساناهای خطوط انتقال برق می‌شود که اگر با باد همراه شود، تعادل سیستم‌ها را برهم می‌زند و بعضی اوقات منجر به خرابی‌های جزئی و یا کلی می‌شود که به قطعی برق و از دست دادن زندگی می‌انجامد. هواشناسی جدید از طریق درک بهتر الگوهای آب و هوا، مهندسان و طراحان را در طراحی بهتر مسیرهای خطوط انتقال برق و یا حتی قرار دادن توربین‌های بادی در محل مناسب کمک می‌کند. داده‌های حوادث یخ‌زدگی که به وسیله سیستم‌های مختلف دیده‌بانی جمع‌آوری می‌شوند پس از تحلیل، برای ساخت پارامترهای طراحی خطوط گذرنده از نواحی که حوادث یخ‌زدگی اتفاق می‌افتند، استفاده می‌شوند. بنابراین تحلیل آماری داده‌های حوادث یخ‌زدگی و تخمین مقادیر یخ‌زدگی از اهمیت خاصی برخوردار است. به این منظور دو روش کلی، تحلیل آماری داده‌های میدانی یخ‌زدگی بر اساس مدل‌های آماری و تخمین مقادیر یخ‌زدگی با استفاده از مدل‌های فیزیکی که معمولاً در صورت نبود داده‌های میدانی می‌تواند مؤثر باشد، در این پایان نامه مورد بررسی قرار گرفته‌اند و هم‌چنین روش‌های یخ‌زدایی و جلوگیری از یخ‌زدگی مورد بحث قرار گرفته‌اند. در راستای اهداف این پایان نامه دو مطالعه موردی در ارتفاعات شهرستان بیجار در استان کردستان بر روی داده‌های هواشناسی به منظور تخمین میزان یخ‌زدگی درون‌ابری (شبنم) در ارتفاع‌های مختلف و داده‌های حاصل از اندازه‌گیری میدانی میزان یخ‌زدگی بارشی (برف مرطوب) انجام شده است. در پایان توصیه‌های لازم برای استفاده از روش‌های یخ‌زدایی و جلوگیری از یخ‌زدگی ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: یخ‌زدگی جوی، داده‌های حوادث یخ‌زدگی، خطوط هوایی انتقال برق، یخ‌زدایی

فهرست مطالب

لیست تصاویر ح

لیست جداول ز

مقدمه س

1 جو زمین 1

1.1 ترکیب جو زمین 1

2.1 ساختار جو زمین 5

3.1 انرژی گرمایی جو زمین 9

4.1 ترمودینامیک جو زمین و معادلات مربوط به آن..... 10

1.4.1 ترمودینامیک هوای خشک 10

2.4.1 ترمودینامیک هوای مرطوب 10

5.1 فشار جو زمین 12

1.5.1 تغییرات فشار جو با ارتفاع 12

2.5.1 تغییرات شبانه‌روزی و سالیانه فشار جو 13

3.5.1 گرادیان یا شیب برداری فشار جو 13

6.1 پایداری و ناپایداری در جو 15
1.6.1 تعادل جو 15
2.6.1 کاهش دمای محیط با ارتفاع (ELR) 16
3.6.1 بررسی حالات تعادل به روش بسته هوا 17
4.6.1 روش جابجایی 18
7.1 ابر 19
1.7.1 علل تشکیل ابر 19
2.7.1 انواع ابرها 22
3.7.1 ارتفاع ابر 22
4.7.1 باران 22
5.7.1 برف..... 23
8.1 حرکت افقی جو (باد) 23
2 هواشناسی جدید و یخزدگی جوی 24
1.2 یخزدگی جوی، بررسی مختصر فرآیندهای یخزدگی و جنبه‌های هواشناسی 29
1.2.2 یخزدگی بارشی 29
2.2.2 یخزدگی درون‌ابری 33
2.2 مدل‌های یخزدگی 34
3.2 مقدمه‌ای به مدل‌های عددی پیش‌بینی آب و هوا 37
1.3.2 مدل‌های جهانی 39
2.3.2 مدل‌های منطقه‌ای 39

3.3.2 مدل‌های محلی 40
4.2 برخی از کاربردهای مقدماتی مدل‌های کوچک مقیاس 40
1.4.2 مطالعات باد 40
2.4.2 مطالعات برف مرطوب ایسلندی 47
5.2 مدل‌های پیش‌بینی عددی وضعیت هوا (NWP)- ارتباط با پیش‌بینی یخ‌زدگی 47
6.2 مطالعه موردی: مدلهای عددی پیش‌بینی آب‌وهوا برای پیش‌بینی حوادث یخ‌زدگی 54
1.6.2 اولین آزمون- کوه وایلز 55
2.6.2 آزمون دوم- کوه گاملمزوتین 59
3 تحلیل آماری داده‌های حوادث یخ‌زدگی..... 63
1.3 اندازه‌گیری‌ها و پایگاه داده‌ها..... 64
1.1.3 تعریف‌های اصلی..... 64
2.1.3 منابع داده‌های میدانی برای حوادث یخ‌زدگی 66
1.2.1.3 سرویس‌های ملی آب و هوا..... 67
2.2.1.3 وسایل الکتریکی..... 67
3.1.3 سنجشگر یخ غیرعامل (PIM)..... 69
4.1.3 سنجشگر یخ غیرعامل (PIM)..... 71
5.1.3 حسگر نیرو (بار) 72
6.1.3 قفسه‌های لوله‌ای ساخته شده از میله فولادی 73
7.1.3 میله‌های فلزی افقی در ایستگاه استیودنایس، جمهوری چک 74
8.1.3 نمادگذاری‌های پایگاه داده حادثه یخ‌زدگی 75

2.3 آنالیز آماری و مدل‌سازی بارهای یخ روی خطوط انتقال هوایی 77
1.2.3 مدل‌سازی داده‌های باران منجمد از اندازه‌گیری‌های PIM 77
1.1.2.3 نقشه‌های باران منجمد 77
2.1.2.3 تعداد سالیانه بازگشت حادثه یخ‌زدگی (ANIER) 78
3.1.2.3 دوره اقامت (استمرار) حادثه یخ‌زدگی (IERP) 79
4.1.2.3 دوره اقامت سالانه کل حوادث یخ‌زدگی در کبک 80
2.2.3 آنالیز حداکثر مقدار 83
1.2.2.3 توزیع دقیق حداکثرها 83
2.2.2.3 دوره بازگشت رخدادهای تکراری 84
3.2.2.3 توزیع مجانبی حداکثرها 84
4.2.2.3 توزیع مجانبی نوع I 85
5.2.2.3 توزیع‌های اولیه (اصلی) 86
6.2.2.3 کاغذهای احتمال 90
7.2.2.3 مسأله رسم مکان 92
8.2.2.3 برازش خطوط مستقیم روی کاغذ احتمال 96
9.2.2.3 ساخت باند فاصله اطمینان (کنترل) 97
10.2.2.3 تخمین گرافیکی پارامترهای خط مستقیم برازش 100
11.2.2.3 تبدیل داده‌های وزن واحد یخ به ضخامت معادل شعاعی یخ 103
12.2.2.3 توزیع تعمیم یافته حداکثر مقدار (GEV) 105
13.2.2.3 روش POT 106

3.2.3 مدل‌سازی بارهای ترکیب شده باد روی یخ 109
1.3.2.3 روش‌های تعیین مقادیر سرعت باد با حوادث یخ‌زدگی 109
2.3.2.3 تعیین دوره بازگشت برای سرعت باد با حوادث یخ‌زدگی 111
3.3.2.3 الگوریتم عددی برای مدل‌سازی بارهای ترکیبی باد روی یخ 114
4.2.3 مدلسازی میزان یخ‌زدگی روی رساناهای خط انتقال 115
1.4.2.3 تأثیر دما 116
2.4.2.3 تأثیر جهت و سرعت باد 117
3.4.2.3 تأثیر میزان بارش منجمد روی تجمع یخ 119
4.4.2.3 همبستگی میزان یخ‌زدگی ساعتی با تعداد سیگنال‌های IRM 121
5.2.3 توزیع توأم سرعت باد و دمای هوا 122
6.2.3 مدلسازی تحول زمانی و مکانی حوادث یخ‌زدگی 124
1.6.2.3 تابع شدت 125
2.6.2.3 مشخصه‌های زمانی فصل‌های حادثه یخ‌زدگی 127
3.6.2.3 مشخصه‌های فضایی ایستگاه‌های اندازه‌گیری یخ 128
4 **مدل‌سازی عددی یخ‌زدگی روی تجهیزات شبکه برق** 132
1.4 معادله اساسی یخ‌زدگی 136
2.4 محاسبه میزان یخ‌زدگی 141
1.2.4 پیاده‌سازی فیزیک یخ‌زدگی در معادله اساسی 141
2.2.4 برخورد ذرات جوی 142
3.2.4 چسبیدن 145
4.2.4 انتقال گرما 146

5.2.4 رشد قندیل 152
3.4 مدل‌سازی عددی 158
1.3.4 مدل‌های فیزیکی 158
2.3.4 مدل‌های فیزیکی پیشرفته 163
3.3.4 مدل‌های مورفوژنتیک 165
5 تأثیرات یخ‌زدگی روی رساناهای خط و روش‌های یخ‌زدایی 174
1.5 ارتعاشات بادی 176
1.1.5 مکانیزم ارتعاش بادی 176
2.1.5 ارتعاشات بادی با تجمع یخ 177
2.5 نوسانات القاشده دنباله 177
1.2.5 مکانیزم نوسان زیراسپن 177
2.2.5 نوسانات اسپن با تجمع یخ 178
3.5 گالوپینگ 179
4.5 روش‌های جلوگیری از یخ‌زدگی 179
1.4.5 کاهش نیروی کشش سطحی یخ 179
2.4.5 جلوگیری از یخ‌زدگی قطرات آب 181
5.5 روش‌های یخ‌زدایی 183
1.5.5 روشهای گرمایی 184
2.5.5 روش‌های مکانیکی 186
3.5.5 روش‌های اثر ژول 192
1.3.5.5 یخ‌زدایی هادی 192

2.3.5.5 یخ‌زدایی سیم گراند 196

6.5 روش‌هایی برای محدودکردن وزن تجمع یخ 198

7.5 جنبه‌های کاربردی 199

1.7.5 قیود الکتریکی 199

2.7.5 قیود مکانیکی 199

3.7.5 قیود گرمایی 200

8.5 پیشرفت‌های جدید در روش‌های ضدیخ 201

1.8.5 مواد ضدیخ 201

2.8.5 پوشش‌های ضدیخ فعال بالقوه 203

6 محاسبات و نتیجه‌گیری 204

1.6 محاسبات 207

1.1.6 مطالعه اول: محاسبه میزان یخ‌زدگی درون ابری (شبنم) در کوه بادامستان 209

2.1.6 مطالعه دوم: اندازه‌گیری میدانی حداکثر تجمع یخ‌زدگی بارشی (برف مرطوب)..212

2.6 توصیه‌ها 216

مراجع 219

لیست تصاویر

1.1 تغییرات دما و چگالی جو زمین با ارتفاع 6

2.1 ساختار جو زمین 9

3.1 خطوط ایزوبار 14

4.1 تغییرات دما نسبت به تغییر ارتفاع در حالت ناپایدار 18

1.2 یخ‌زدگی شبنم روی خط 22 کیلو ولتی برق در آوریل 1961 در نروژ، 1400 متر بالای سطح دریا 25

2.2 تجمع برف مرطوب روی خط برق سقوط‌کرده در ایسلند 27

3.2 یخ‌زدگی شبنم روی پره توربین بادی در ایستگاه آزمون Gütsch، سوئیس 27

4.2 توزیع قائم دما (نموداری) از جو پایین‌تر برای تشکیل باران منجمد 31

5.2 تودرتویی نواحی 41

6.2 مثال‌هایی از خروجی مدل 75 متر 43

7.2 مدل مربوط به پروژه‌های خط انتقال در نروژ 45

8.2 مدل‌سازی برف مرطوب در ایسلند با یک مدل پیش‌بینی دینامیکی آب و هوا 48

9.2 نموداری از طرح میکروفیزیک ابر از مدل‌های MM5/WRF 53

10.2 کوه وایلز، فنلاند. سطح مقطع قائم حجم آب مایع ابر و دما: ساعت 6 بوقت محلی 14 فوریه 1990..... 56

11.2 کوه وایلز، فنلاند. سطح مقطع قائم حجم آب مایع ابرودما: ساعت 11 به وقت محلی 9 ژانویه 1996 57

12.2 کوه وایلز، فنلاند. سطح مقطع قائم حجم آب مایع ابرودما: ساعت 11 به وقت محلی10ژانویه 1996 58

13.2 کوه گاملزوتین، نروژ. نمونه عکس دوربین وب استفاده شده برای اندازه‌گیری‌ها 60

14.2 کوه گاملزوتین، نروژ. بارهای یخ تجمع یافته، مدل‌سازی شده و مشاهده شده 61

1.3 تحول زمانی یک نمونه حادثه یخ‌زدگی بارشی 65

2.3 سنجشگر یخ غیرعامل (PIM) 69

3.3 سنجشگر میزان یخ‌زدگی (IRM) 71

4.3 قفسه لوله‌ای ساخته شده از میله فولادی استفاده شده برای اندازه‌گیری‌های یخ‌زدگی در نروژ 73

5.3 ماکزیمم سالیانه وزن واحد یخ اندازه‌گیری شده در استیودنایس، جمهوری چک، 1999-1940 75

6.3 تعداد سالیانه حوادث یخ‌زدگی در کبک 79

7.3 دوره اقامت (استمرار) حوادث یخ‌زدگی بارشی در کبک 81

8.3 استمرار سالیانه کل حوادث یخ‌زدگی بارشی در کبک 82

9.3 توزیع ویبل با پارامتر مقیاس c=1، و پارامترهای شکل مختلف، k 87

10.3 حداکثر تجمع یخ در طی 378 حادثه یخ‌زدگی در مونت‌بلیر در کبک، کانادا، 2006-1992 89

11.3 داده‌ها برای حداکثر سالیانه وزن واحد یخ از استیودنایس، جمهوری‌چک، روی کاغذ احتمال گامبل
برای بزرگترین حداکثرها 91

12.3 داده‌ها برای حداکثر سالیانه وزن واحد یخ استیودنایس، جمهوری‌چک، روی کاغذ احتمال فریچت
برای بزرگترین حداکثرها 92

13.3 داده‌ها برای حداکثر سالیانه ضخامت معادل شعاعی یخ استیودنایس، جمهوری‌چک، روی کاغذ احتمال
گامبل برای بزرگترین حداکثرها 93

14.3 نمودار احتمال گامبل برای داده‌های وزن واحد یخ‌زدگی، با خط مستقیم برازش و حدود فاصله اعتماد 99

15.3 برازش دنباله راست از داده‌های وزن یخ روی کاغذ احتمال گامبل 101

16.3 برازش دنباله راست داده‌های وزن یخ روی کاغذ احتمال فریچت 103

17.3 نمودار احتمالاتی گامبل داده‌های ضخامت شعاعی یخ، با خط راست برازش و حدود فاصله اطمینان 104

18.3 توزیع‌های مرجع برای باد- بار در کبک 113

19.3 ضریب کاهش k_r سرعت باد،دوره‌های بازگشت مختلف Tوضریب پراکندگی توزیع اولیه سرعت باد ... 115

20.3 میزان ساعت‌به‌ساعت یخ‌زدگی بارشی بعنوان تابعی از دمای محیط 117

21.3 میزان ساعت‌به‌ساعت یخ‌زدگی بارشی بعنوان تابعی از میانگین ساعت‌به‌ساعت سرعت باد 118

22.3 میزان ساعت‌به‌ساعت یخ‌زدگی بارشی بعنوان تابعی از جهت باد 118

23.3 نمودار باد برای ایستگاه آزمون یخ‌زدگی مونت‌بلیر در طی حوادث یخ‌زدگی بارشی 119

24.3 میزان ساعت‌به‌ساعت یخ‌زدگی بارشی بعنوان تابعی از میزان ساعت‌به‌ساعت بارش 120

25.3 میزان ساعت‌به‌ساعت یخ‌زدگی بارشی بعنوان تابعی از میزان ساعت‌به‌ساعت بارش 120

26.3 میزان ساعت‌به‌ساعت یخ‌زدگی بارشی بعنوان تابعی از تعداد ساعت‌به‌ساعت سیگنالهای IRM 121

27.3 نوع یخ‌زدگی بعنوان تابعی از سرعت باد و دما 122

28.3 توزیع توأم سرعت باد- دمای هوا در طی حوادث یخ‌زدگی بارشی (glaze) 123

29.3 توزیع توأم سرعت باد- دمای هوا در طی حوادث یخ‌زدگی درون ابری (شبنم) 123

30.3 موقعیت جغرافیایی 28 ایستگاه آزمون یخ‌زدگی SYGIVRE در سال 2000 124

31.3 چگالی فصلی حوادث یخ‌زدگی از نوع باران منجمد (یخ‌زدگی بارشی) 126

32.3 چگالی فصلی حوادث یخ‌زدگی از نوع شبنم (یخ‌زدگی درون ابری) 127

33.3 درخت دسته‌بندی زمانی مرتبه‌ای برای ایستگاه‌های SYGIVRE 128

34.3 درخت دسته‌بندی فاصله‌ای مرتبه‌ای برای ایستگاه‌های SYGIVRE 130

1.4 شبنم روی یک خط انتقال 22kV در ووس، نروژ، 18 آوریل 1961 134

2.4 یخ روی کابل‌های هوایی بعد از یک حادثه باران منجمد در اسلواکی 135

3.4 نمونه یخ‌زدگی باران منجمد بعد از حادثه باران منجمد 135

4.4 تجمع برف مرطوب روی خط برق 300kV در دال- فنا، نروژ 136

5.4 خطوط جریان هوا و منحنی‌های مسیر قطرک‌ها در اطراف یک استوانه 138

6.4 رشد یخ شبنم (رشد خشک) 139

7.4 رشد یخ باران منجمد (رشد مرطوب) 140

8.4 سطح مقطع طرح‌وار یک قندیل در حال رشد 156

9.4 مثالی از پیش‌بینی مدل مورفوژنتیک 166

1.5 حلقه از بین رفته و واکنش گذرا در شکم‌های یک مدل آیروالاستیک 176

2.5 مدار بیضی شکل یک استوانه مدور در دنباله استوانه دیگر 178

3.5 نمونه یخ‌زدایی با یخ در نزدیکی نقطه افتادن 185

4.5 نمونه یک یخ‌زدای ROV 186

5.5 استفاده هلی‌کوپتر برای یخ‌زدایی با استفاده از وزنه 90 کیلوگرمی و طناب بلند 188

6.5 نمونه DAC نگه داشته شده به وسیله طناب سفت و آماده برای کار 189

7.5 یخ‌زدایی یک دسته دوتایی با استفاده از جریان 10kA به روش EIDI 189

8.5 نمونه AIC ساخته شده توسط شرکت Protura 190

9.5 عکس هوایی و زمینی مبدل DC پست هیدرو- کبک کانادا 194

10.5 یکی از دو مرحله متوالی مورد نیاز برای یخ‌زدایی رساناهای فاز خط 194

11.5 نمایش روش یخ‌زدای پالس الکتروترمال برای رساناهای هوایی 196

12.5 یخ‌زدایی هم‌زمان از دو سیم GW (ایجاد حلقه) 197

1.6 نمایی از شهر بیجار 207

2.6 یخ‌زدگی درون ابری کوه حمزه‌عرب 208

3.6 نمایی از کوه بادامستان 208

4.6 نمایی از کوه نقاره‌کوب 209

5.6 رسوب یخ مدل‌سازی شده در ارتفاعهای متفاوت منطقه بیجار در استان کردستان در سال 1389 211

6.6 رسوب یخ مدل‌سازی شده در ارتفاعهای متفاوت منطقه بیجار در استان کردستان در سال 1390 211

7.6 خطوط پست انتقال برق 230/63 کیلو ولت شهرستان بیجار 212

8.6 تجمع یخزدگی برف مرطوب بر روی خطوط هوایی انتقال برق بیجار، 1390/11/12 ساعت 00:00 213

9.6 تجمع یخزدگی برف مرطوب بر روی خطوط هوایی انتقال برق بیجار، 1390/11/13 ساعت 6:00 213

10.6 نمودار تغییرات دما 214

11.6 نمودار تغییرات سرعت باد 215

12.6 نمودار تغییرات جهت باد 215

لیست جداول

1.1 ترکیبات جو زمین 2

1.2 نسبت مابین مقدار مدل‌سازی شده و اندازه‌گیری شده از آب ابر 58

1.3 ماکزیمم سالیانه وزن واحد یخ در استیودنایس، جمهوری چک، 1999-1940 76

2.3 طبقه‌بندی 1739 ساعت از داده‌های یخ‌زدگی ثبت شده در ایستگاه آزمون مونت‌بلیر 77

3.3 پارامترهای آماری حوادث یخ‌زدگی باران منجمد در کبک 82

4.3 پهنای باند کنترلی برای بزرگترین حداکثرها 98

5.3 پیش‌بینی بارهای یخ از برازش خط مربوط به داده‌های حوادث یخ‌زدگی از جدول (1.3) 100

6.3 پیش‌بینی بارهای یخ با استفاده از خط برازش شده در کاغذ احتمال گامبل 101

7.3 پیش‌بینی بارهای یخ با استفاده از خط برازش شده در کاغذ احتمال فریچت 103

8.3 پیش‌بینی ضخامت شعاعی یخ با استفاده از خط برازش شده در کاغذ احتمال گامبل 105

9.3 مرجع بارگذاری باد برای باد منطقه‌ای در کبک 112

1.5 روش‌های جلوگیری از یخ‌زدگی برمبنای کاهش نیروی کشش سطحی 181

2.5 تکنیک‌های جلوگیری از یخ‌زدگی بر مبنای پیشگیری از یخ‌زدن قطرات سرد آب 183

3.5 روش‌های یخ‌زدایی گرمایی 185

4.5 روش‌های مکانیکی یخ‌زدایی 191

5.5 روش‌های یخ‌زدایی بر مبنای اثر ژول 197

1.6 مقادیر اندازه‌گیری شده تجمع برف مرطوب 216

مقدمه

جو زمین لایه‌ای از گازهای مختلف است که زمین را احاطه کرده است و تحت اثر گرانش زمین قرار دارد. جو، حیات را در روی زمین به صورت‌های مختلف امکان‌پذیر می‌کند: با جذب تابش فرابنفش خورشیدی، با گرم کردن سطح زمین به وسیله اثر گلخانه‌ای[1]، و با انواع تغییرات دما به صورت مکانی و زمانی جریان‌های جو و غیره[1].

یخ‌زدگی جوی ساختارهای مختلف ساخته دست انسان را در بسیاری کشورها متأثر می‌کند. سازه‌های ساخته شده در بالای کوه‌ها اغلب در معرض یخ‌زدگی شبنم هستند. در نواحی دیگر، برف مرطوب و باران منجمد سازه‌های واقع در ارتفاع‌های پایین را هم متأثر می‌کند. بنابراین خطوط برق، توربین‌های بادی، برج‌های مخابراتی یا دکل‌های بزرگ، بالابرهای اسکی و دیگر سازه‌ها طوری طراحی می‌شوند تا در برابر بارها و دیگر عوامل مضر به علت یخ‌زدگی و هم‌چنین بارهای یخ مؤثر مقاوم باشند.

هواشناسی جدید می‌تواند مهندسان و طراحان را در طراحی خطوط انتقال برق از طریق درک بهتر از الگوهای آب و هوا در ناحیه معین کمک کند. و هم‌چنین می‌تواند توانایی ما را از تعیین پارامترهای جوی که هنگام بررسی شرایط محلی یخ‌زدگی به آنها نیاز است، افزایش دهد. این کار خود می‌تواند برای طراحی بارها در نواحی که شرایط یخ‌زدگی تا حد زیادی نامشخص هستند نیز به کار گرفته شود. تحلیل آماری داده‌های میدانی برای حوادث یخ‌زدگی در تمامی مراحل طرح‌ریزی: طراحی، ساخت، و عملکرد شبکه‌های خطوط هوایی انتقال، مخصوصاً برای خطوطی که از نواحی با وضعیت‌های شدید یخ‌زدگی عبور می‌کنند، خیلی مهم است[4]. جمع‌آوری داده‌های یخ‌زدگی روی تجهیزات خط یک فرآیند مشکل، پرهزینه و وقت‌گیر است. دیده‌بانی مستقیم تأثیرات یخ‌زدگی روی خطوط هوایی برق، از مقدمات لازم برای درک بسیاری از پدیده‌هایی که می‌تواند رخ دهد، می‌باشد. بدون این چنین مشاهداتی، فرضیات غیر

[1] Greenhouse effect

واقعی ساخته می‌شود که موجب حل نادرست مبتنی بر تحلیل خواهد شد. یخ‌زدایی خطوط انتقال نیرو در مناطق سردسیر از مهم‌ترین مسائل و مشکلات شرکت‌های برق منطقه‌ای طی دهه‌های اخیر بوده است. تکنیک‌های زیادی برای حل این مشکل ایجاد شده است. بر مبنای تجربه صنعت برق در نقاط مختلف دنیا، دو استراتژی متفاوت به کار رفته در این رابطه در خطوط انتقال هوایی یخ‌زدایی[2] و جلوگیری از یخ‌زدگی[3] هستند.

در این پایان نامه دو روش کلی تحلیل آماری داده‌های میدانی یخ‌زدگی بر اساس مدل‌های آماری و تخمین مقادیر یخ‌زدگی با استفاده از مدل‌های فیزیکی که معمولاً در صورت نبود داده‌های میدانی می‌تواند مؤثر باشد، مورد بررسی قرار گرفته‌اند و در این راستا دو مطالعه موردی در ارتفاعات شهرستان بیجار در استان کردستان بر روی داده‌های هواشناسی به منظور تخمین میزان یخ‌زدگی درون‌ابری در ارتفاع‌های مختلف و داده‌های حاصل از اندازه‌گیری میدانی یخ‌زدگی بارشی (برف مرطوب) انجام شده است. در پایان روش‌های یخ‌زدایی و جلوگیری از یخ‌زدگی بررسی شده است و برای روش‌های مذکور توصیه‌هایی نیز شده است.

[2] de-icing

[3] anti-icing

فصل 1

جو زمین

هوایی که اطراف کره زمین را فراگرفته است جو زمین نام دارد. این هوا توسط قوه جاذبه زمین نگهداری می‌شود. ارتفاع آن در حدود هزار کیلومتر تخمین زده شده که در مقایسه با شعاع زمین بسیار نازک است. غلظت هوا در مناطق مختلف آن متفاوت است. مثلاً در ارتفاع صد کیلومتری غلظت هوا نسبت به هوای سطح کره زمین یک میلیونیم است که در ارتفاعات بالاتر از این حد نیز کاهش یافته و هوا رقیق‌تر می‌شود و از فشار آن نیز کاسته می‌شود.

1.1 ترکیب جو زمین

لایه پایینی جو زمین ترکیبی از ازت، اکسیژن، دی‌اکسید کربن، هیدروژن و گازهای نادر است که در جدول (1.1) درصد آن ترکیبات نشان داده شده است. البته گازهای دیگری به جز آن‌چه که در جدول آمده است در این لایه تشخیص داده شده است، به طوری که مقادیر ارائه شده تا 80 کیلومتری از سطح زمین ثابت بوده و این نشانگر آمیختگی جو زمین است. قسمت عمده تشکیل دهنده جو در لایه پایینی ازت و اکسیژن است. از این میان ازن جزء اجزاء متغیر بوده و بیشتر در لایه بالاتر جو زمین قراردارد[1].